

# 高効率の有機薄膜太陽電池

## 世界最高レベルのエネルギー変換効率を達成

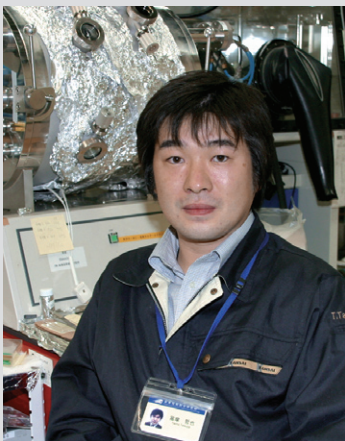
有機薄膜太陽電池は、低コストかつ低環境負荷の次世代太陽電池として期待されている。今回作製した p-i-n 接合\*型有機薄膜太陽電池は、AM1.5 G\*の擬似太陽光照射の下で約 4% と、有機薄膜太陽電池としては世界最高レベルのエネルギー変換効率を示すことが明らかになった。

The solar cell utilizing clean and inexhaustible solar energy is expected to be the major domestic energy source in future in view of preventing global warming. One of the most promising candidates is organic thin-film solar cell, which can be produced at a reduced manufacturing cost. We have found that introducing a nano-structured layer (i-layer) where organic semiconductor forms a 3-dimensional p-n junction at the molecular level into p-n junction interface of organic thin-film solar cell expands the practical photovoltaic layer to enhance the efficiency of light utilization. With the p-i-n type organic thin-film solar cell, a power conversion efficiency, 4 %, a world top level, has been achieved. Getting the perspective for upgrading the power conversion efficiency of organic thin-film solar cells in this way, is expected to accelerate the realization of low cost, lightweight and flexible plastic solar cells.

當摩 哲也 Tetsuya Taima  
tetsuya-taima@aist.go.jp

太陽光発電研究センター  
有機薄膜チーム 研究員

1993年東北大学工学部入学。有機非線形光学材料の結晶デバイス作製法の研究に従事し、2002年、東北大学 工学研究科博士課程後期 修了。産総研特別研究員、学振特別研究員を通して、有機薄膜太陽電池の研究開発に携わり、2005年 産総研 太陽光発電研究センター 有機薄膜チーム研究員となり現在に至る。実用レベルまでの高効率化を目指し、有機薄膜太陽電池の研究に従事中。携帯や腕時計、カーウインドウなどにカラフルな有機薄膜太陽電池が応用できれば、太陽電池自体の新たなイメージが創出できるのではないかと期待している。専門：有機結晶成長、有機非線形光学材料、有機光電子材料、有機半導体デバイス等。



有機薄膜太陽電池は、現在普及しているシリコン太陽電池と同様に半導体としての機能に基づく固体型の太陽電池であり、30年以上の長い研究開発の歴史がある。有機薄膜太陽電池は有機ならではの特徴として、軽い、柔らかい、カラフル、低コストという特徴を持ち、従来のシリコン系ではできない用途、つまりウェアラブルやユビキタスといった身近なもののバッテリー源としての利用が期待されている(図1)。しかし、エネルギー変換効率は1%程度からなかなか向上しないため長いこと研究開発の停滞が続き、何らかのブ

レックスルーによるエネルギー変換効率の向上が期待されてきた。

最近では、有機薄膜太陽電池と類似した構造の発光素子である有機EL素子がすでに実用化されており、実用化研究の中で有機半導体デバイスに関するさまざまな知見が蓄積され、そうした知見の有機薄膜太陽電池への応用が活発化している。また、サッカーボール型分子として脚光を浴びたフラーレン(C60)が優れた n型有機半導体として機能することが明らかになり、有機薄膜太陽電池が復活するための条件が整いつつある。

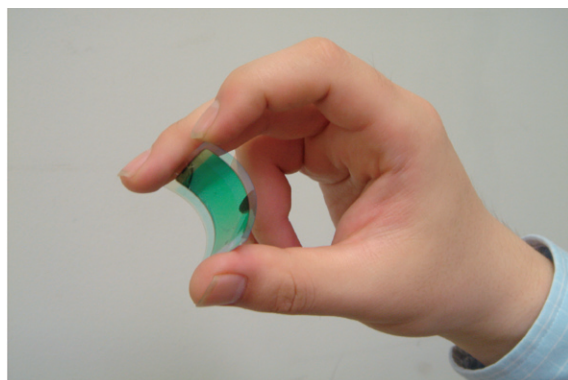


図1 軽く、柔らかく、カラフルな有機薄膜太陽電池

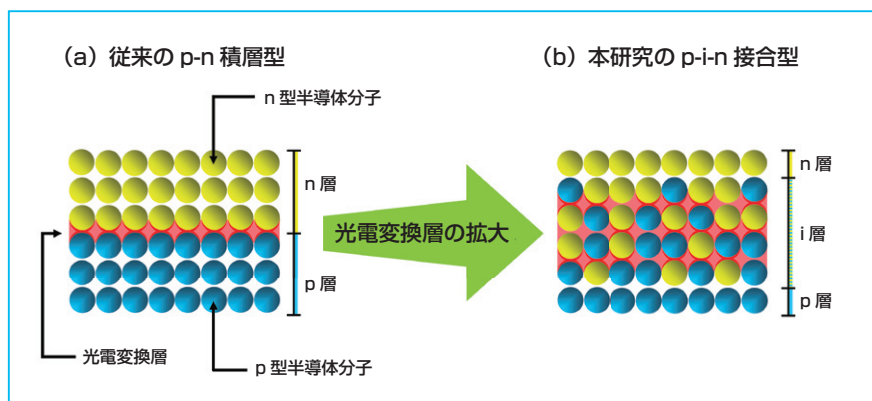


図2 p-n 接合へのナノ構造層 (i 層) の導入による分子 p-n 接合界面の増大

なぜ、有機薄膜太陽電池はこれまで高い効率を出すことができなかったのか？これまでの有機薄膜太陽電池では、有機半導体で形成されるp-n接合の光電変換層の厚みが数ナノメートル（1ナノメートルは10億分の1メートル）程度しかないため、従来型の単純積層型太陽電池（図2 a）では光の利用効率が悪く、大きな光電流を取り出すことができなかった。このため有機薄膜太陽電池のエネルギー変換効率を向上させるには、“光電変換層の拡大による光の利用効率の改善”が鍵とされていた。

今回われわれは、有機半導体が分子レベルで3次元的なp-n接合を形成するナノ構造の相互作用層 (i層) をp-n接合界面に新たに導入することで、分子レベルでのp-n接合形成を可能とするナノp-n接合が多数形成され、光電変換層を拡大できることを見出した(図2 b)。

先に述べた高性能n型有機半導体であるフラーレン (C60) と、新幹線の塗料などに使われる汎用材料であるp型有機半導体亜鉛フタロシアニン (ZnPc) を用い、真空蒸着によってデバイスを作製した。ZnPcとC60で形成されるp-n接合界面にZnPcとC60を混合したナノ構造層 (ZnPc : C60=i層) を導入してp-i-n接合型有機薄膜太陽電池を作製したところ (図3)、そのエネルギー変換効率は約4%を示した。これはAM1.5 G

の擬似太陽光の下で評価した有機薄膜太陽電池としては最高レベルの値である。

この研究開発の成果は、有機半導体層のトータルの膜厚が50ナノメートル（約50分子層の厚さ）という薄い状態でも高いエネルギー変換効率の太陽電池

特性が得られることを明らかにしたもので、単位膜厚当たりには換算すると、これは無機材料も含めた全太陽電池の中でも最高の値である（他の太陽電池は厚さがマイクロメートルのオーダーとなり、1000倍以上も厚い）。今回開発した有機薄膜太陽電池では、その薄さのためにまだ多くの光が利用されていない状態であり、タンデム化によってさらに光の利用効率を向上させることで、今後エネルギー変換効率の大幅な改善が可能になるものと期待される。

このように、有機薄膜太陽電池のエネルギー変換効率の高効率化の目途が立ったことは、プラスチックフィルム太陽電池の実現を大きく加速するものである。

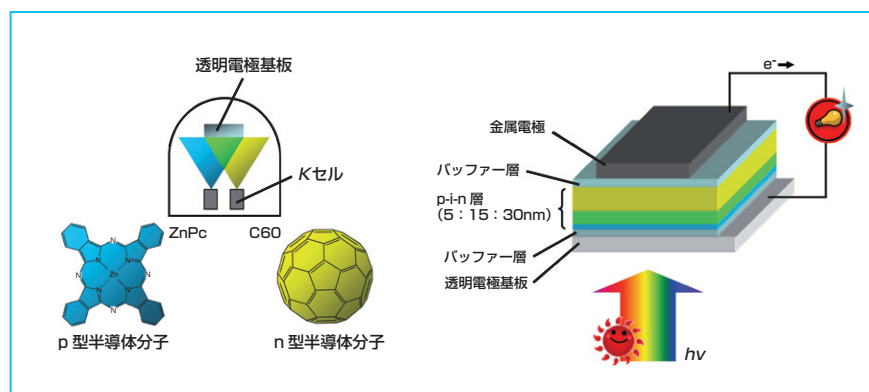


図3 この研究で使用した半導体材料と真空蒸着によるデバイス作製法、p-i-n 接合型有機薄膜太陽電池のデバイス構造図

#### 用語解説\*

- ◆ p-i-n 接合：シリコン系太陽電池では、真性半導体の層を間に挟んで p-n 接合を形成することにより、p-n 接合の実効的な幅を拡張したものの。i は真性 (intrinsic) の略からきている。
- ◆ AM1.5 G：太陽電池のエネルギー変換効率を求める際に用いられる、太陽光を模した標準的な光源から出る光のスペクトルの呼称。測定に用いる光のスペクトルが AM1.5 G と異なっていると、太陽電池としてのエネルギー変換効率に誤差が生じる。

#### 関連情報：

- T. Taima, M. Chikamatsu, Y. Yoshida, K. Saito, and K. Yase : Applied Physics Letters Vol. 85, no. 26, p. 6412-6414 (2004) .
- 斉藤 和裕, 當摩 哲也, 近松 真之, 原 浩二郎, 吉田 郵司, 八瀬 清志: 応用物理 第 73 巻, 第 12 号, p. 1525-1530 (2004) .
- 日本経済新聞, 毎日新聞, 日経産業新聞, 日刊工業新聞掲載 : 2005 年 1 月 28 日 .
- 共同研究者 : 八瀬 清志, 斉藤 和裕, 原 浩二郎 .